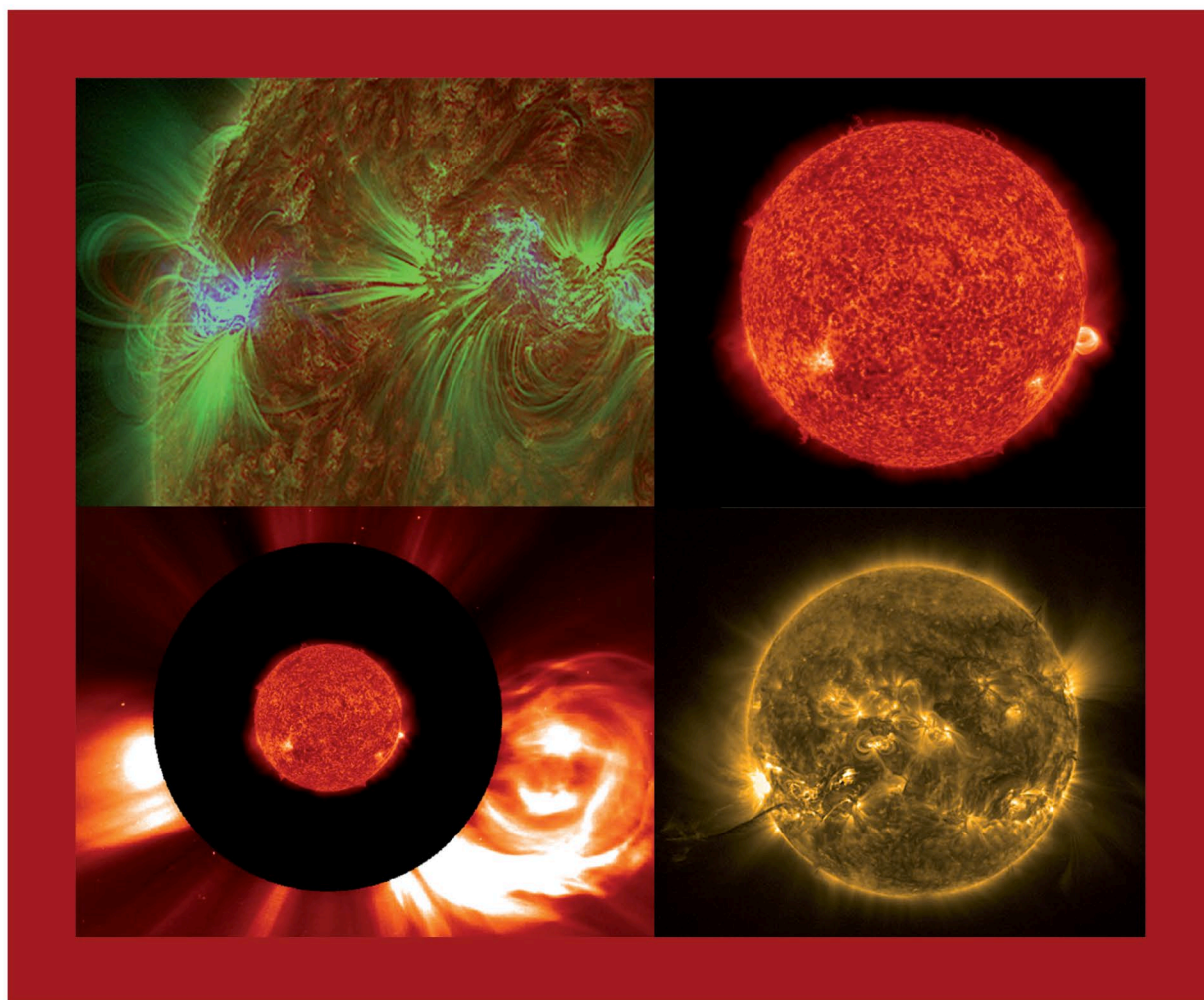


Revue **E** tijdschrift

REVUE D'ELECTRICITE ET D'ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE – TIJDSCHRIFT VOOR ELEKTRICITEIT EN INDUSTRIELE ELEKTRONICA



**Les tempêtes solaires et leur
impact sur les réseaux électriques**

***Zonnestormen en hun
impact op elektrische netten***

Les mécanismes de lumière naturelle: analyse des bibliothèques d'Alvar Aalto*

Jean-Denis Thiry, Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme (LOCI), Université catholique de Louvain (UCL), Belgium & Interdisciplinary Laboratory of Performance-Integrated Design (LIPID), ENAC, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Switzerland. (current address)

Contact: jean-denis.thiry@epfl.ch

Mots-clés: éclairage naturel; espace-lumière; mécanisme-lumière; bibliothèque; Alvar Aalto

RESUME

Aujourd'hui, les enjeux du développement durable obligent à revoir l'ensemble des paramètres de la conception architecturale. Selon l'Agence internationale de l'énergie, en 2005, 19 % de l'électricité produite dans le monde était consommée par l'éclairage. Nous savons que les bienfaits des photons naturels sont largement supérieurs à l'éclairage bleuté des lampes à fluorescence, ou au mauvais rendu chromatique des LED. L'éclairage naturel est donc un des aspects à ne pas négliger pour faire face aux défis du développement durable.

A cela s'ajoute la dimension humaine de la lumière naturelle, en tant que facteur de bien-être et de cohésion sociale, quant elle est associée au concept "espace-lumière". Il ne s'agit pas seulement de capter plus de lumière naturelle, mais aussi de la distribuer en lui conférant une dimension spatiale.

Par insuffisance de connaissances et de données, les approches permettant de simuler le niveau d'éclairement d'un bâtiment, ne prennent que trop peu en compte les qualités spatiales et humaines que la lumière naturelle peut apporter. Ces recherches ont pour objectif d'articuler éclairage naturel et conception architecturale, par l'analyse d'exemples majeurs d'architecture. C'est pourquoi, des bibliothèques de l'architecte moderniste finlandais Alvar Aalto, localisées selon un axe nord-sud, de l'Allemagne à la Laponie finlandaise [fig.1], ont été étudiées en détail. Celles-ci sont caractérisées par des ambiances lumineuses de grande qualité, malgré le faible ensoleillement sous ces latitudes. Les jeux subtils de lumière directe et indirecte installent des limites virtuelles, créant des espaces statiques et dynamiques à part entière, lieux favorables aux activités et aux rencontres intergénérationnelles, sous la lumière.

Pour la première fois, des niveaux d'éclairement ont été mesurés extensivement dans une typologie de bâtiments d'Alvar Aalto, renommé pour sa maîtrise de l'espace et de la lumière. Cette approche permet d'envisager la conception de dispositifs de prise de lumière performants, tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif, et se révèle être un point de départ pertinent pour l'analyse des "espaces-lumière".

SAMENVATTING

Vandaag vereisen de uitdagingen van duurzame ontwikkeling het herzien van alle parameters van het architectonisch ontwerp. Volgens het Internationaal Energie Agentschap werd in 2005 19% van de wereldproductie van elektriciteit aangewend voor verlichting. We weten dat de natuurlijke fotonen heel wat meer voordelen bieden dan het zachtblauwe licht van de fluorescentielampen of dan de slechte kleurweergave van de LEDs. Natuurlijke verlichting is dus één van de aspecten die in aanmerking komen om de uitdagingen van duurzame ontwikkeling aan te pakken.

Daar komt nog de menselijke dimensie van natuurlijk licht bij, als welzijnsfactor en als factor van sociale cohesie, omdat het wordt geassocieerd met het concept "licht-ruimte". Het is niet alleen een kwestie van meer natuurlijk licht opvangen, maar ook van dat licht te verspreiden doorheen de ruimtelijke dimensie.

Door onvoldoende kennis en gegevens houden de benaderingen die toelaten het verlichtingsniveau van een gebouw te simuleren, te weinig rekening met de ruimtelijke en menselijke kwaliteiten die natuurlijk licht kan meebrengen. Dit onderzoek heeft tot doel de link tussen natuurlijke verlichting en architectonisch ontwerp onder woorden te brengen door het analyseren van de belangrijkste voorbeelden van de architectuur. Daarom worden bibliotheken van de Finse modernistische architect Alvar Aalto, gelegen op een noord-zuid-as, van Duitsland naar Fins Lapland [fig.1] in detail bestudeerd. Ze worden gekenmerkt door sfeervolle verlichting van hoge kwaliteit, ondanks het lage zonlicht op deze breedtegraden. Het subtiële spel van direct en indirect licht installeert virtuele grenzen door het creëren van volwaardige statische en dynamische ruimtes, locaties gunstig voor activiteiten en ontmoetingen tussen generaties onder het licht.

Voor het eerst werden de lichtniveaus uitvoerig gemeten in een classificatie van gebouwen van Alvar Aalto, bekend om zijn beheersing van ruimte en licht. Deze aanpak maakt het mogelijk het ontwerp van efficiënte lichtopname-apparaten te overwegen, zowel kwantitatief als kwalitatief, en blijkt ook een goed uitgangspunt te zijn voor "licht-ruimte"-analyses.

* Prix IBE-BIV 2013, Institut Belge de l'éclairage – Affilié à la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE).

ABSTRACT

Today, the challenges of sustainable development require revisiting all the parameters of architectural design. According to the International Energy Agency, in 2005, 19% of the electricity produced in the world was consumed for lighting. We know that the benefits of natural photons are much better than the blue light of the fluorescent lamps, or the bad chromatic rendering of the LEDs. Daylighting is an aspect which must not be overlooked to face the challenges of sustainable development.

To this is added the human dimension of natural light, as a factor of well-being and social cohesion, when it is associated with the concept of "light-space." It is not only a matter of capturing more natural light, but also a matter of distributing by giving it a spatial dimension.

By lack of knowledge and data, approaches allowing to simulate the lighting level of a building take only limited account of the spatial and human qualities of natural light. This research aims to articulate natural lighting and architectural design through the analysis of major examples of architecture. Therefore, libraries of the modernist Finnish architect Alvar Aalto, located along a north-south axis, from Germany to Finnish Lapland [fig.1] were studied in detail. These are characterized by high quality lighting scenes, despite the low sunlight under these latitudes. The subtle play of direct and indirect lighting installs some virtual boundaries, creating static and dynamic spaces, which are favorable places for activities and intergenerational meetings, under the light.

For the first time, light levels have been measured extensively in a typology of Alvar Aalto's buildings, renowned for his mastery of space and light. This approach allows to consider the design of high performance lighting devices, both from a quantitative and qualitative point of view, and proves to be a relevant point of departure for the analysis of "light-spaces".



Fig. 1: Bibliothèque de Rovaniemi, 05-06-2011, J.-D. T.

Introduction

Avec les connaissances et moyens de l'époque, Alvar Aalto a conçu des mécanismes d'éclairage naturel innovants et exemplaires. Malgré le faible ensoleillement sous des latitudes qualifiées d'arctiques, celui-ci nous plonge dans des ambiances lumineuses d'une grande qualité. De nombreuses théories architecturales existent sur les œuvres d'Alvar Aalto. Cependant, aucune d'entre-elles n'a encore réellement mesuré et évalué les caractéristiques lumineuses des espaces construits.

Pour caractériser les effets spatiaux et dispositifs architecturaux associés, nous ferons appel à deux concepts, «espace-lumière» et «mécanisme-lumière»:

– Un «espace-lumière» est un espace défini par la lumière, telle une bulle de lumière quasi-tangible. Plusieurs unités peuvent être combinées selon une mise en scène spatiale sensible. Ainsi, en guise d'espaces de transition ou de seuils, Alvar Aalto utilise des zones d'ombre, agis-

sant sur la perception de l'espace, sans avoir recours aux limites physiques que sont sol, murs et plafond.

– Un «mécanisme-lumière» est un dispositif capable de guider la lumière naturelle depuis l'extérieur vers l'intérieur d'un bâtiment, avec une intensité et une directionnalité maîtrisées, dans le but de répondre aux besoins d'usages donnés.

Parmi les approches permettant de simuler le niveau d'éclairage d'un bâtiment, très peu considèrent les qualités spatiales, plastiques et humaines que la lumière naturelle peut apporter à l'architecture, par défaut de connaissances et de données rigoureuses. Par l'analyse d'exemples majeurs de l'architecture, ces recherches ont pour objectif d'articuler techniques d'éclairage naturel et conception architecturale. Pour ce faire, des bibliothèques localisées selon un axe nord-sud, de Rovaniemi en Laponie Finlandaise, jusqu'à Wolfsburg en Allemagne, ont été étudiées en détail dans le cadre du mémoire de fin d'études.

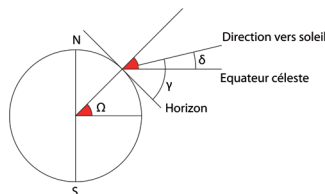
La lumière naturelle fut étudiée sous plusieurs aspects:

- Les caractéristiques d'un éclairage naturel suffisant – donc durable –, agréable et surtout adapté à chaque fonction d'une bibliothèque. Celles-ci sont exprimées par les niveaux d'éclairage relevés in situ et représentés en «fausses-couleurs» apposés sur les coupes des bâtiments analysés.
- La spécificité des ambiances lumineuses des «espaces-lumière» associés aux «mécanismes-lumière». Ceux-ci ont été analysés individuellement, puis classifiés selon leurs caractéristiques spatiales et architectoniques.

L'architecte utilise habilement la structure du bâtiment afin de moduler l'apport en lumière naturelle. Les surfaces courbes ou obliques agissent tels des réflecteurs qui constituent des surfaces émissives secondaires et procurent un éclairage indirect, évitant l'inconfort dû à l'éblouissement ou des contrastes trop excessifs dans les salles de lecture. Cependant, les subtiles variations qui

Fig. 2: L'ensoleillement des lieux étudiés:

- soit Ω la latitude du lieu étudié;
- soit γ l'angle d'incidence solaire;
- soit D l'intervalle lever-coucher du soleil;
- soit δ la déclinaison solaire.



	Ω latitude nord	γ 21-12 à 12h	γ 21-06 à 12h	D 21-12 à 12h	D 21-06 à 12h
Rovaniemi	66° 30'	0°	47°	8'	23h15'
Seinäjoki	62° 47'	3,7°	50,7°	4h21'	19h38'
Jyväskylä	62° 14'	4,3°	51,3°	4h38'	19h21'
Viipuri	60° 42'	5,8°	52,8°	5h16'	18h43'
Helsinki	60° 10'	6,4°	53,3°	5h27'	18h32'
Wolfsburg	52° 25'	14,1°	61,1°	7h26'	16h33'

Fig. 3 : 1 - Rovaniemi, 1961-65, bibliothèque municipale;
2 - Jyväskylä, 1953-55, bibliothèque de l'Université de Jyväskylä;
3 - Seinäjoki, 1960-65, bibliothèque municipale;
4 - Viipuri, 1927-1935, bibliothèque municipale (auj. Vyborg, Russie);
5 - Helsinki, 1953-56, bibliothèque de l'Institut national des pensions;
6 - Wolfsburg, 1959-62, bibliothèque du centre culturel municipal.



caractérisent la lumière naturelle participant à garder un contact avec la dimension temporelle de la lumière extérieure. Aussi, faut-il veiller à obtenir un juste équilibre entre une lumière plus intense à certains endroits et constante sur les zones de lecture. L'éclairage devient ainsi un outil de conception architecturale.

Afin d'étudier ou d'élaborer un "mécanisme-lumière", le calcul des valeurs d'ensoleillement revêt ici toute son importance. Les angles maxima et minima d'incidence solaire ont été calculés aux solstices pour les bibliothèques étudiées, ainsi que l'intervalle de temps entre le lever et le coucher du soleil. [fig.2]

Démarche suivie

La première étape fut de collationner, au centre d'archives de la Fondation Alvar Aalto à Jyväskylä, tous les plans et détails des bibliothèques étudiées et de les retracer avec précision. Sur cette base, des transects de prises de mesures furent définis et dix voyages d'études furent ensuite effectués dans les différentes bibliothèques [Fig. 3] afin d'y réaliser 3.600 mesures de niveaux d'éclairement à l'aide d'un luxmètre.

Les mesures ont été effectuées selon des transects mis en place afin de passer sous tous les "mécanismes-lumière" significatifs. Comme indiqué sur le plan de la bibliothèque de Wolfsburg [Fig. 4], les points de mesures ont été choisis en fonction de la configuration des

espaces, et répartis selon une grille dont les points d'intersection sont espacés de 50 cm, et ce jusqu'à 2,5 m de hauteur.

Afin d'obtenir les données les plus complètes, les prises de mesures ont été répétées à divers moments de la journée selon la grille du transect, et ce en période hivernale et estivale. Ces valeurs d'éclairement sont exprimées par des coupes en fausses-couleurs qui, selon Merete Madsen, sont les plus adaptées pour mettre en évidence et analyser les "espaces-lumière".

Le cas de la bibliothèque de Wolfsburg

Le Centre Culturel Aalto (1959-1962) est considéré comme la plus importante création de l'architecte en Allemagne. Il a été construit dans le but d'offrir un lieu de rencontre dédié à la culture, dans une ville typiquement industrielle.

Aalto fait usage de longs puits de lumière linéaires incurvés le long des parois latérales et sur le pourtour de la fosse de lecture, renforçant ainsi la forme de base du plan. Quatorze puits de lumière coniques éclairent le centre de la fosse. Leur dimension est telle qu'aucun rayon de lumière direct ne pénètre dans l'espace.

Comme on peut le voir sur une photo datant de l'ouverture de la bibliothèque [Fig. 7], aucune étagère ne se trouvait en partie centrale, ni sur la coursive supérieure. Celles-ci ont été rajoutées à posteriori, par manque de place. Comme à son habitude, Aalto porta une grande attention à la position des luminaires. Il va même jusqu'à placer des lampes artificielles sur la toiture du bâtiment, ce qui lui donne une allure particulière. Au-dessus de chaque mécanisme-lumière conique, une lampe diffuse un éclairage artificiel suivant la même orientation que la lumière du jour, dès que celle-ci vient à manquer. [Fig. 8]



Fig. 5 & 6: Wolfsburg, 13-09-2011, J.-D.T.

Fig. 7: Ich baue, Der Architekt Alvar Aalto in Wolfsburg, Wolfsburg 1962

Fig. 8: Wolfsburg, 13-09-2011, J.-D.T.

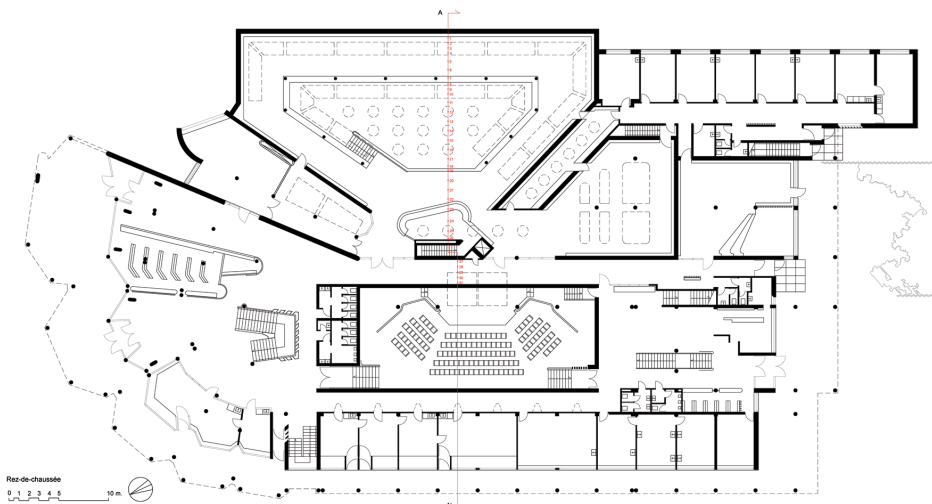


Fig. 4: Plan retracé de la bibliothèque de Wolfsburg (avec points de mesures)

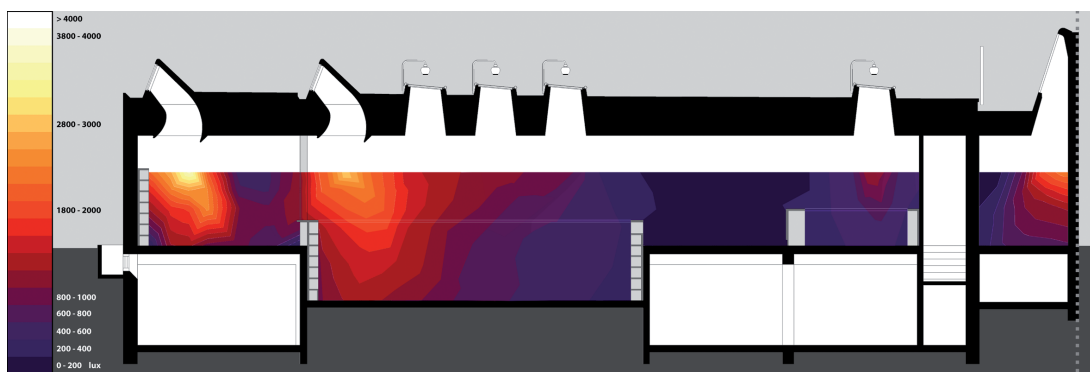


Fig. 9 : Représentation fausses-couleurs de la bibliothèque de Wolfsburg; relevé du 13-09-2011; 13h00-14h00; ensoleillement extérieur de 35000 à 37000 lux.

Les deux puits de lumière linéaires incurvés constituent les deux sources principales d'éclairage [Fig. 5-6]. Sur la coursive supérieure au niveau des étagères et dans la fosse de lecture, l'éclairage est toujours supérieur à 500 lux jusqu'au milieu de l'après-midi.

Comme pour la bibliothèque de Rovaniemi, Aalto plaça les zones principales de circulation – entre le bureau d'accueil et la fosse de lecture – dans l'ombre, sous la barre des 200 lux. [Fig. 9].

Dans la bibliothèque, deux «espaces-lumière» concentriques principaux sont perçus, tels de véritables «ceintures de lumière».

- Un «espace-lumière périphérique», entre les parois latérales et la circulation, entoure l'ensemble de la pièce et éclaire les étagères latérales.
- Un «espace-lumière central» illumine et borde le comptoir de lecture. Il apporte également un niveau d'éclairage adéquat sur les étagères situées en contrebas.

Au centre, les puits de lumière coniques apportent une lumière à caractère plus diffus. Au-dessus du comptoir d'accueil, les deux puits de lumière permettent d'atteindre des valeurs de 300 à 600 lux. Un complément en éclairage artificiel est utilisé sur cette zone de travail des bibliothécaires.

La lumière souligne ainsi pleinement l'architecture [Fig. 10]. Les différentes fonctions du lieu sont dotées chacune d'un éclairage singulier adapté.

Synthèse de recherches

Les coupes de l'ensemble des bibliothèques analysées ont été décomposées en «mécanismes-lumière» [Fig. 11], puis classées et répertoriées dans un tableau à double entrée [Fig. 12], avec les latitudes en ordonnée et en abscisse deux grandes catégories:

- Les mécanismes de type «réflecteurs linéaires», regroupant les réflecteurs courbes, inclinés ou verticaux, et les ouvertures zénithales oblongues.
- Les mécanismes de type «diffuseurs ponctuels», regroupant les puits de lumière coniques.

Ce tableau fait apparaître la logique architecturale qui régit la conception des dispositifs de prise de lumière chez Aalto. Les coupes schématiques présentent la réflexion des rayons solaires – basée sur une réflexion spéculaire des rayons solaires incidents –, y compris pour la lumière diffuse du nord. Cette démarche a pour objectif de tester, de manière théorique, les «mécanismes-lumière» aux conditions d'ensoleillement extrême.

Selon les lois de la réflexion spéculaire, plus l'angle d'incidence solaire est faible, plus il est nécessaire d'avoir



Fig. 10: Wolfsburg; 13-09-2011 à 12h00; temps d'exposition 1/60; F 6,3; J.-D.T. Mise en évidence des niveaux de luminance relative par le biais d'un logiciel de traitement d'images élaboré à cette fin.

une faible inclinaison/courbure du réflecteur afin de faire pénétrer un maximum de rayons indirects dans la pièce. Ainsi, les réflecteurs principaux situés au-dessus des alcôves de lecture de la bibliothèque de Rovaniemi en Laponie finlandaise présentent une faible courbure afin de capter les rayons du soleil, presque horizontaux en période hivernale. De la même manière, les puits de lumière coniques ont leurs parois plus faiblement inclinées, en forme d'entonnoir, afin de réfléchir un maximum de rayons jusqu'à l'intérieur.

A contrario, sous de plus basses latitudes, les parois du réflecteur doivent se rapprocher de la verticale afin de ne pas laisser pénétrer une lumière directe gênante. Comme constaté lors de l'analyse de la bibliothèque de

l'Institut national des pensions à Helsinki, les prises de lumière ponctuelles coniques n'offrent pas un niveau d'éclairage optimal lorsque les hauteurs sous plafond sont importantes. Afin de conserver un éclairage indirect tout au long de l'année dans la bibliothèque de Viipuri particulièrement haute sous plafond, Alvar Aalto a percé des puits de lumière d'un diamètre beaucoup plus important, tout en augmentant la hauteur du réflecteur conique.

Quant à la bibliothèque située la plus au sud, en Allemagne, l'architecte y redresse l'inclinaison de ses réflecteurs linéaires courbes et diminue la taille des ouvertures vitrées afin de maîtriser un ensoleillement trop direct. Malgré des latitudes nettement inférieures à la Finlande, ceux-ci captent admirablement le rayonnement solaire, même en période hivernale. Comme pour la bibliothèque d'Helsinki, les puits de lumière coniques offrent un niveau d'éclairage uniforme dans l'espace. En hiver, leur comportement est cependant plus médiocre puisque seule une faible lumière diffuse éclaire l'espace.

Si sous certains mécanismes, des niveaux d'éclairage trop importants ou trop faibles ont pu être relevés – principalement en période hivernale –, la pertinence de ces «mécanismes-lumière» nous donnent la preuve, en tous points, du génie d'Alvar Aalto et de l'exigence de son travail.

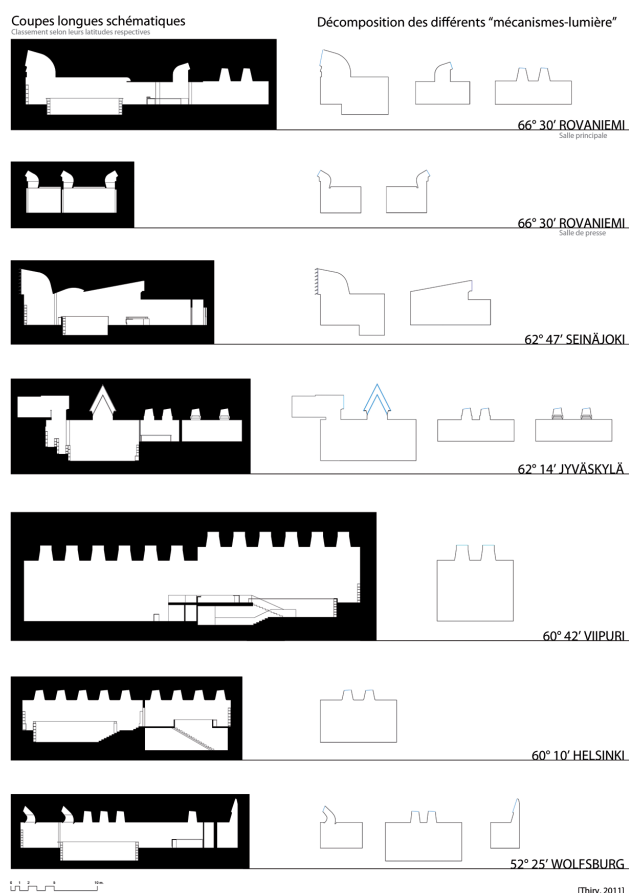


Fig. 11: Décomposition des différents «mécanismes-lumière». Classement selon leurs latitudes respectives.

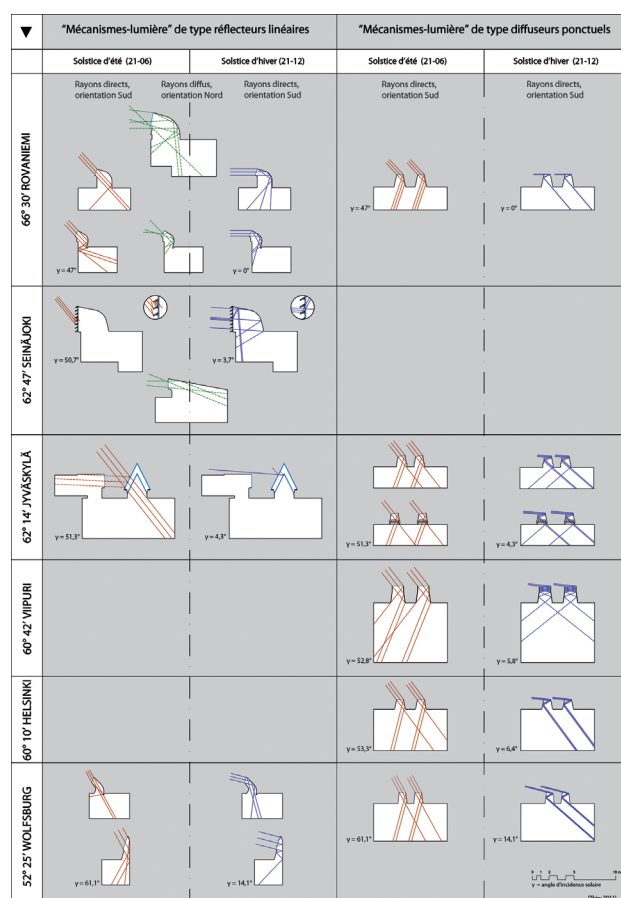


Fig. 12: Synthèse des «mécanismes-lumière» étudiés. Représentation des rayons solaires incidents aux solstices, selon le principe de réflexion spéculaire

Conclusion et perspectives

Cette étude s'inscrit dans une démarche plus large de réduction de l'impact énergétique des bâtiments. Envisager l'utilisation de la lumière naturelle comme source première d'éclairage et la lumière artificielle comme complément, permettrait de réduire nettement les consommations sans pour autant diminuer le confort des habitants, mais au contraire en l'augmentant.

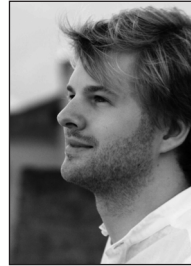
Les cas étudiés fournissent un répertoire d'exemples de compositions et structurations d'espaces par la lumière naturelle. Le lien établi entre analyse des «espaces-lumière», techniques d'éclairage et conception architecturale est essentiel pour faire avancer la recherche et la compréhension des caractéristiques spatiales, plastiques et humaines de la lumière naturelle en architecture. Aussi, des analyses similaires pourraient utilement être menées avec pour support d'autres architectures remarquables, en d'autres lieux, avec d'autres fonctions, voire d'autres cultures.

Remerciements

Cet article est basé sur le mémoire de fin d'étude lauréat du Prix IBE-BIV 2013 (Institut Belge de l'éclairage, CIE): Jean-Denis Thiry, Les «mécanismes-lumière» dans

l'architecture des bibliothèques d'Alvar Aalto, 2012. Ce travail a été supporté par l'Université catholique de Louvain – UCL (J.-L. Capron dir.) et par l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne – EPFL (M. Andersen dir.).

L'auteur



Jean-Denis Thiry

Experience

- Registered Architect in Belgium, 2012-14
- Teaching Assistant, UCL (LOCI), Design studio, Belgium, 2012-14
- Doctoral Assistant, EPFL, Interdisciplinary Laboratory of Performance-Integrated Design (LIPID), Switzerland, 2014-present

Education

- B.Sc. Arch., UCL (ISA St-Luc), Belgium, 2010
- Erasmus Llp visiting student, TUT, Finland, 2011
- M. Arch., UCL (LOCI), Belgium, 2012
- PhD candidate, EPFL, LIPID, Switzerland, 2014-present.

Contact

jean-denis.thiry@epfl.ch

Delivering Integrated Solutions

A committed player in the energy transition, Cofely Fabricom provides multitechnical solutions to companies and communities. It offers an extensive range of integrated solutions in the fields of infrastructure, industry, services, energy, and oil & gas. Our 5,500 employees strive each day to improve energy performances, sustainability and user comfort.